

# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 21 JAN. 2004

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS  
CONFORMÉMENT À LA  
RÈGLE 17.1.a) OU b)

Martine PLANCHE

~~BEST AVAILABLE COPY~~

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
www.inpi.fr



6 bis, rue de Saint Pétersbourg

5800 Paris Cedex 08

téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - L



N° 11354\*03

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

page 1/3



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W / 210502

Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES

DATE

20 JAN 2003

LIEU

75 INPI PARIS

N° D'ENREGISTREMENT

0300571

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

20 JAN, 2003

DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE

PAR L'INPI

Vos références pour ce dossier BFF 02/0542

(facultatif)

☒ NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE  
À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE

CABINET LAVOIX  
2, Place d'Estienne d'Orves  
75441 PARIS CEDEX 09

Confirmation d'un dépôt par télécopie

☐ N° attribué par l'INPI à la télécopie

☒ NATURE DE LA DEMANDE

Cochez l'une des 4 cases suivantes

Demande de brevet

☒

Demande de certificat d'utilité

☐

Demande divisionnaire

☐

*Demande de brevet initiale  
ou demande de certificat d'utilité initiale*

N°

Date

N°

Date

Transformation d'une demande de  
brevet européen *Demande de brevet initiale*

☐

N°

Date

☒ TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

Procédé et dispositif de pilotage d'un ensemble de restitution à partir d'un signal multicanal.

☒ DÉCLARATION DE PRIORITÉ

OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE

LA DATE DE DÉPÔT D'UNE

DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

☐ S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

☒ DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)

☐ Personne morale

☒ Personne physique

Nom  
ou dénomination sociale

BRUNO Rémy, Henri, Denis

Prénoms

Forme juridique

N° SIREN

Code APE-NAF

Domicile  
ou  
siège

Rue

Code postal et ville

Pays

23 avenue Eva Salmon

94400 VITRY SUR SEINE

FRANCE

Nationalité

Française

N° de téléphone (facultatif)

N° de télécopie (facultatif)

Adresse électronique (facultatif)

☒ S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

Remplir impérativement la 2<sup>ème</sup> page

**REQUÊTE EN DÉLIVRANCE**

Page suite N° 2. / 3.

**BR/SUITE**

Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES

DATE

20 JAN 2003

LIEU

75 INPI PARIS

N° D'ENREGISTREMENT

0300571

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 829 W / 010702

Vos références pour ce dossier *(facultatif)*

BFF 02/0542

☒ **DÉCLARATION DE PRIORITÉ  
OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE  
LA DATE DE DÉPÔT D'UNE  
DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE**

Pays ou organisation

Date           N°

Pays ou organisation

Date           N°

Pays ou organisation

Date           N°

☒ **DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)**

☐ **Personne morale**

☒ **Personne physique**

Nom  
ou dénomination sociale

LABORIE Arnaud, Serge, Raymond

Prénoms

Forme juridique

N° SIREN

Code APE-NAF

Domicile  
ou  
siège

Rue

24 bis rue Arago

Code postal et ville

94400 VITRY SUR SEINE

Pays

FRANCE

Nationalité

Française

N° de téléphone *(facultatif)*

N° de télécopie *(facultatif)*

Adresse électronique *(facultatif)*

☒ **DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)**

☐ **Personne morale**

☒ **Personne physique**

Nom  
ou dénomination sociale

MONTOYA Sébastien, Adrien

Prénoms

Forme juridique

N° SIREN

Code APE-NAF

Domicile  
ou  
siège

Rue

4 rue Gaston Pinot

Code postal et ville

75019 PARIS

Pays

FRANCE

Nationalité

Française

N° de téléphone *(facultatif)*

N° de télécopie *(facultatif)*

Adresse électronique *(facultatif)*

☒ **SIGNATURE DU DEMANDEUR  
OU DU MANDATAIRE  
(Nom et qualité du signataire)**

Ph. BLOT  
n° 98-0404

*Philippe Blot*

**VISA DE LA PRÉFECTURE  
OU DE L'INPI**

*[Signature]*

Réservé à l'INPI

EMISE DES PIÈCES

ITE

EU

20 JAN 2003

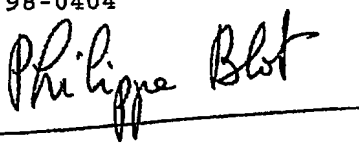

75 INPI PARIS

° D'ENREGISTREMENT

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

0300571

DB 540 W / 210502

<b>6 MANDATAIRE (s'il y a lieu)</b>		
Nom		
Prénom		
Cabinet ou Société		CABINET LAVOIX
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		
Adresse	Rue	2 Place d'Estienne d'Orves
	Code postal et ville	75441 PARIS CEDEX 09
	Pays	FRANCE
N° de téléphone (facultatif)		01 53 20 14 20
N° de télécopie (facultatif)		01 48 74 54 56
Adresse électronique (facultatif)		brevets@cabinet-lavoix.com
<b>7 INVENTEUR (S)</b>		Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques
Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes		<input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Paiement échelonné de la redevance (en deux versements)		Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence) : AG
<b>10 SÉQUENCES DE NUCLEOTIDES ET/OU D'ACIDES AMINÉS</b>		<input type="checkbox"/> Cochez la case si la description contient une liste de séquences
Le support électronique de données est joint		<input type="checkbox"/>
La déclaration de conformité de la liste de séquences sur support papier avec le support électronique de données est jointe		<input type="checkbox"/>
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes		
<b>11 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)</b>		<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b>
Ph. BLOT n° 98-0404 		

La présente invention concerne un procédé et un dispositif de pilotage d'un ensemble de restitution d'un champ acoustique comportant une pluralité d'éléments de restitution, à partir d'une pluralité de signaux acoustiques ou audiophoniques associés chacun à une direction générale de restitution prédéterminée, définie par rapport à un point de l'espace donné.

Un tel ensemble de signaux est couramment désigné par l'expression « signal multicanal » et correspond à une pluralité de signaux, appelés canaux, transmis en parallèle ou multiplexés les uns avec les autres, chacun destiné à un élément ou un groupe d'éléments de restitution, disposé dans une direction générale prédéfinie par rapport à un point donné.

Par exemple, un système multicanal classique et connu sous le nom de « 5.1 ITU-R BF 775-1 » et comporte cinq canaux destinés à des éléments de restitutions placés dans cinq directions générales prédéterminées par rapport à un centre d'écoute, définies par les angles  $0^\circ$ ,  $+30^\circ$ ,  $-30^\circ$ ,  $+110^\circ$  et  $-110^\circ$ .

Une telle disposition correspond donc à la disposition d'un haut-parleur ou un groupe de haut-parleurs devant au centre, un de chaque côté devant à droite et à gauche et un de chaque côté derrière à droite et à gauche.

Les signaux de pilotage étant associés chacun à une direction déterminée, l'application de ces signaux à un ensemble de restitution dont les éléments ne répondent pas à la configuration spatiale prédéterminée, entraîne des déformations importantes du champ acoustique restitué.

Il existe des systèmes qui intègrent des moyens de retard sur les canaux, afin de compenser au moins partiellement, l'éloignement des éléments de restitution par rapport au centre d'écoute. Ces systèmes ne permettent cependant pas de prendre en compte la disposition dans l'espace de l'ensemble de restitution.

Il apparaît donc qu'aucun procédé ou système existant, ne permet une restitution de bonne qualité à partir d'un signal de type multicanal avec un ensemble de restitution de configuration spatiale quelconque.

La présente invention a pour objet de remédier à ce problème, en définissant un procédé et un système de pilotage de l'ensemble de restitution dont la configuration spatiale est quelconque.

L'invention a pour objet un procédé de pilotage d'un ensemble de restitution d'un champ acoustique comportant une pluralité d'éléments de restitution

associés chacun à une direction générale de restitution prédéterminée définie par rapport à un point donné, pour obtenir un champ acoustique restitué de caractéristiques spécifiques sensiblement indépendantes des caractéristiques intrinsèques de restitution dudit ensemble, caractérisé en ce qu'il comporte :

5                   - une étape de détermination de caractéristiques au moins spatiales dudit ensemble de restitution, permettant la détermination de paramètres représentatifs pour au moins un élément dudit ensemble de restitution de sa position dans les trois dimensions de l'espace par rapport audit point donné ;

10                  - une étape de détermination de filtres d'adaptation à partir desdites caractéristiques au moins spatiales dudit ensemble de restitution et desdites directions générales de restitution prédéterminée associées à ladite pluralité de signaux d'entrée d'informations acoustiques ;

15                  - une étape de détermination d'au moins un signal de pilotage desdits éléments dudit ensemble de restitution par l'application desdits filtres d'adaptation à ladite pluralité de signaux d'entrée d'informations acoustiques; et

                  - une étape de délivrance dudit au moins un signal de pilotage en vue d'une application auxdits éléments de restitution.

Suivant d'autres caractéristiques :

20                  - ladite étape de détermination de caractéristiques au moins spatiales dudit ensemble de restitution, comporte une sous-étape de saisie permettant de déterminer tout ou partie des caractéristiques dudit ensemble de restitution ;

                  - ladite étape de détermination de caractéristiques au moins spatiales dudit ensemble de restitution, comporte une étape de calibrage permettant de délivrer tout ou partie des caractéristiques dudit ensemble de restitution ;

25                  - ladite sous-étape de calibrage comporte pour au moins un des éléments de restitution :

                  - une sous-étape d'émission d'un signal spécifique vers ledit au moins un élément dudit ensemble de restitution ;

30                  - une sous-étape d'acquisition de l'onde sonore émise en réponse par ledit au moins un élément ;

                  - une sous-étape de transformation desdits signaux acquis en un nombre fini desdits coefficients représentatifs de l'onde sonore émise ; et

- une sous-étape de détermination de paramètres spatiaux et/ou acoustiques dudit élément à partir desdits coefficients représentatifs de l'onde sonore émise ;

5 - ladite sous-étape de calibrage comporte en outre une sous-étape de détermination de la position dans au moins l'une des trois dimensions de l'espace dudit au moins un élément dudit ensemble de restitution ;

- ladite étape de calibrage comporte une sous-étape de détermination de la réponse en fréquence dudit au moins un élément dudit ensemble de restitution ;

10 - ladite étape de détermination de filtres d'adaptation comprend :

- une sous-étape de détermination d'une matrice de décodage représentative de filtres permettant la compensation des altérations de restitution dues aux caractéristiques spatiales dudit ensemble de restitution ;

15 - une sous-étape de détermination d'une matrice de rayonnement multicanal idéale représentative des directions générales prédéterminées associées à chaque signal d'informations de la pluralité des signaux d'entrée ; et

- une sous-étape de détermination d'une matrice représentative desdits filtres d'adaptation à partir de ladite matrice de décodage et de ladite matrice de rayonnement multicanal ;

20 - ladite étape de détermination de filtres d'adaptation comporte une pluralité de sous-étapes de calcul permettant de délivrer un ordre limite de précision spatiale des filtres d'adaptation, une matrice correspondant à une fenêtre spatiale représentative de la répartition dans l'espace de la précision souhaitée lors de la reconstruction du champ acoustique et une matrice représentative du rayonnement de l'ensemble de restitution, ladite sous-étape de calcul de la ma-  
25 trice de décodage étant réalisée à partir des résultats de ces sous-étapes de calcul ;

- les matrices de décodage, de rayonnement multicanal idéal et d'adaptation sont indépendantes de la fréquence, l'étape de détermination d'au-  
30 moins un signal de pilotage desdits éléments dudit ensemble de restitution par l'application desdits filtres d'adaptation correspondant à de simples combinaisons linéaires suivies de retard.

- ladite étape de détermination de caractéristiques dudit ensemble de restitution permet la détermination de caractéristiques acoustiques dudit ensem-

ble de restitution et ledit procédé comporte une étape de détermination de filtres de compensation de ces caractéristiques acoustiques, ladite étape de détermination d'au moins un signal de pilotage comprenant alors une sous-étape d'application desdits filtres de compensation acoustique ;

5                   - ladite étape de détermination de caractéristiques acoustiques est adaptée pour délivrer des paramètres représentatifs pour au moins un élément de sa réponse en fréquence ;

                  - ladite étape de détermination d'au moins un signal de pilotage comporte une sous-étape d'ajustement de gain et d'application de retards afin  
10 d'aligner temporellement le front d'onde des éléments de restitution en fonction de leur distance par rapport audit point donné.

L'invention a également pour objet un programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution des étapes du procédé lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.

15                   L'invention a encore également pour objet un support amovible du type comprenant au moins un processeur de traitement et un élément de mémoire non volatile, caractérisé en ce que ladite mémoire comprend un programme comprenant des instructions de code pour l'exécution des étapes du procédé, lorsque ledit processeur exécute ledit programme.

20                   L'invention a encore pour objet un dispositif de pilotage d'un ensemble de restitution d'un champ acoustique comportant une pluralité d'éléments de restitution, comportant des moyens d'entrée d'une pluralité de signaux d'entrée d'informations acoustiques associés chacun à une direction générale de restitution prédéterminée définie par rapport à un point donné, caractérisé en ce qu'il  
25 comporte en outre :

                  - des moyens de détermination de caractéristiques au moins spatiales dudit ensemble de restitution, permettant la détermination de paramètres représentatifs pour au moins un élément dudit ensemble de restitution de sa position dans les trois dimensions de l'espace par rapport audit point donné ;

30                   - des moyens de détermination de filtres d'adaptation à partir desdites caractéristiques au moins spatiales dudit ensemble de restitution et des directions générales de restitution prédéterminée associées à ladite pluralité des signaux d'entrée d'informations acoustiques ; et



- des moyens de détermination d'au moins un signal de pilotage desdits éléments dudit ensemble de restitution par l'application desdits filtres d'adaptation à ladite pluralité de signaux d'entrée d'informations acoustiques.

Suivant d'autres caractéristiques de ce dispositif :

- 5           - lesdits moyens de détermination des caractéristiques au moins spatiales dudit ensemble de restitution comportent des moyens de saisie directe desdites caractéristiques ;
- il est adapté pour être associé à des moyens de calibrage permettant la détermination des caractéristiques au moins spatiales dudit ensemble de
- 10   restitution ;
- lesdits moyens de calibrage comprennent des moyens d'acquisition d'une onde sonore comportant quatre capteurs de pression disposés selon une forme générale de tétraèdre ;
- lesdits moyens de détermination de caractéristiques sont adaptés
- 15   pour la détermination de caractéristiques acoustiques d'au moins un desdits éléments de restitution dudit ensemble de restitution, ledit dispositif comportant des moyens de détermination de filtres de compensation acoustique à partir desdites caractéristiques acoustiques et lesdits moyens de détermination d'au moins un signal de pilotage étant adaptés pour l'application desdits filtres de compensa-
- 20   tion acoustique ;
- lesdits moyens de détermination des caractéristiques acoustiques sont adaptés pour la détermination de la réponse en fréquence desdits éléments de l'ensemble de restitution.

25           L'invention a également pour objet un appareil de traitement de données audio et vidéo comportant des moyens de détermination d'une pluralité de signaux d'entrée d'informations acoustiques associés chacun à une direction générale de restitution prédéterminée définie par un point donné, caractérisé en ce qu'il comporte en outre un dispositif de pilotage d'un ensemble de restitution ;

          - lesdits moyens de détermination d'une pluralité de signaux d'entrée

30   sont formés d'une unité de lecture et de décodage des disques audio et/ou vidéo numériques.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés, sur lesquels :

- la Fig.1 est une représentation d'un repère sphérique ;
- la Fig.2 est un schéma d'un système de restitution selon l'invention ;
- la Fig.3 est un organigramme du procédé de l'invention ;
- la Fig.4 est un schéma de moyens de calibrage mis en œuvre dans  
5 le procédé de l'invention ;
- la Fig.5 est un organigramme détaillé de l'étape de calibrage ;
- la Fig.6 est une représentation simplifiée d'un capteur utilisé pour la  
mise en œuvre de l'étape de calibrage ;
- la Fig.7 est un organigramme détaillé de l'étape de détermination de  
10 filtres d'adaptation ; et
- les Figs.8 et 9 sont des schémas de moyens de détermination de si-  
gnaux de pilotage ; et
- la Fig.10 est un schéma d'un mode de réalisation d'un dispositif met-  
tant en œuvre le procédé de l'invention.

15 Sur la figure 1, on a représenté un repère sphérique classique, de manière à préciser le système de coordonnées auquel il est fait référence dans le texte.

Ce repère est un repère orthonormal, d'origine  $O$  et comportant trois axes  $(OX)$ ,  $(OY)$  et  $(OZ)$ .

20 Dans ce repère, une position notée  $\vec{x}$  est décrite au moyen de ses coordonnées sphériques  $(r, \theta, \phi)$ , où  $r$  désigne la distance par rapport à l'origine  $O$ ,  $\theta$  l'orientation dans le plan vertical et  $\phi$  l'orientation dans le plan horizontal.

Dans un tel repère, un champ acoustique est connu si l'on définit en tout point à chaque instant  $t$  la pression acoustique notée  $p(r, \theta, \phi, t)$ , dont la trans-  
25 formée de Fourier temporelle est notée  $P(r, \theta, \phi, f)$  où  $f$  désigne la fréquence.

L'invention est fondée sur l'utilisation d'une famille de fonctions spatio-temporelles permettant de décrire les caractéristiques de tout champ acoustique.

Dans le mode de réalisation décrit, ces fonctions sont des fonctions dites de Fourier-Bessel sphériques de première espèce appelées par la suite fonc-  
30 tions de Fourier-Bessel.

Dans une zone vide de sources sonores et vide d'obstacles, les fonctions de Fourier-Bessel sont solutions de l'équation des ondes et constituent une base qui engendre tous les champs acoustiques produits par des sources sonores situées à l'extérieur de cette zone.

Tout champ acoustique tridimensionnel s'exprime donc par une combinaison linéaire des fonctions de Fourier-Bessel, selon l'expression de la transformée de Fourier-Bessel inverse qui s'exprime :

$$P(r, \theta, \phi, f) = 4\pi \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^l P_{l,m}(f) j_l^l(kr) y_l^m(\theta, \phi)$$

- 5 Dans cette équation, les termes  $P_{l,m}(f)$  sont, par définition, les coefficients de Fourier-Bessel du champ  $p(r, \theta, \phi, t)$ ,  $k = \frac{2\pi f}{c}$ ,  $c$  est la célérité du son dans l'air ( $340 \text{ ms}^{-1}$ ),  $j_l(kr)$  est la fonction de Bessel sphérique de première espèce d'ordre  $l$  définie par  $j_l(x) = \sqrt{\frac{\pi}{2x}} J_{l+1/2}(x)$  où  $J_\nu(x)$  est la fonction de Bessel de première espèce d'ordre  $\nu$ , et  $y_l^m(\theta, \phi)$  est l'harmonique sphérique réelle d'ordre  $l$  et de terme  $m$ , avec  $m$  allant de  $-l$  à  $l$ , définie par :

$$y_l^m(\theta, \phi) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{\pi}} P_l^{|m|}(\cos \theta) \cos(m\phi) & \text{pour } m > 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} P_l^0(\cos \theta) & \text{pour } m = 0 \\ \frac{1}{\sqrt{\pi}} P_l^{|m|}(\cos \theta) \sin(m\phi) & \text{pour } m < 0 \end{cases}$$

Dans cette équation, les  $P_l^m(x)$  sont les fonctions de Legendre associées définies par :

$$P_l^m(x) = \sqrt{\frac{2l+1}{2}} \sqrt{\frac{(l-m)!}{(l+m)!}} (1-x^2)^{m/2} \frac{d^m}{dx^m} P_l(x)$$

- 15 avec  $P_l(x)$  les polynômes de Legendre, définis par :

$$P_l(x) = \frac{1}{2^l l!} \frac{d^l}{dx^l} (x^2 - 1)^l$$

Les coefficients de Fourier-Bessel s'expriment aussi dans le domaine temporel par les coefficients  $p_{l,m}(t)$  correspondant à la transformée de Fourier temporelle inverse des coefficients  $P_{l,m}(f)$ .

- 20 En variante, le procédé de l'invention utilise des bases de fonctions s'exprimant comme des combinaisons linéaires, éventuellement infinies, de fonctions de Fourier-Bessel.

Sur la figure 2, on a représenté schématiquement un système de restitution dans lequel on met en œuvre le procédé de l'invention.

- 25 Ce système comporte un décodeur ou adaptateur 1 pilotant un ensemble de restitution 2 qui comporte une pluralité d'éléments  $3_1$  à  $3_N$ , tels que

des haut-parleurs, des enceintes acoustiques ou toute autre source sonore ou groupe de sources sonores, agencés de manière quelconque dans un lieu d'écoute 4. On place arbitrairement, dans le lieu d'écoute 4, l'origine  $O$  du repère que l'on appelle centre 5 de l'ensemble de restitution.

5 L'ensemble des caractéristiques spatiales, acoustiques et électrodynamiques est considéré comme les caractéristiques intrinsèques de l'ensemble de restitution 2.

L'adaptateur 1 reçoit en entrée un signal  $S/$  de type multicanal comportant des informations acoustiques à restituer et un signal de définition  $SL$  comportant des informations représentatives de caractéristiques au moins spatiales de  
10 l'ensemble de restitution 2 et notamment permettant la détermination de paramètres représentatifs pour au moins un élément  $3_n$  de l'ensemble de restitution 2 de sa position dans les trois dimensions de l'espace par rapport au point donné 5.

A l'issue du traitement correspondant au procédé de l'invention,  
15 l'adaptateur 1 émet à l'attention de chacun des éléments ou groupes d'éléments  $3_1$  à  $3_N$  de l'ensemble de restitution 2, un signal  $sc_1$  à  $sc_N$  de pilotage spécifique.

Sur la figure 3, on a représenté schématiquement les étapes principales du procédé selon l'invention mis en œuvre avec un système de restitution tel que celui décrit en référence à la figure 2.

20 Ce procédé comporte une étape 10 de détermination de paramètres de fonctionnement, adaptée pour permettre au moins la détermination des caractéristiques spatiales de l'ensemble de restitution 2.

L'étape 10 comporte une étape 20 de saisie des paramètres et/ou une étape 30 de calibrage permettant de déterminer et/ou mesurer des caractéristiques de l'ensemble de restitution 2.  
25

Dans le mode de réalisation décrit, l'étape 10 comporte également une étape 40 de détermination de paramètres de description des directions générales prédéterminées associées aux différents canaux du signal d'entrée multicanal  $S/$ .

A l'issue de l'étape 10, des informations relatives au moins aux différentes directions générales prédéterminées associées à chacun des canaux d'entrée ainsi qu'à la position dans les trois dimensions de l'espace de chacun des éléments ou groupes d'éléments  $3_n$  de l'ensemble de restitution 2, sont déterminées.  
30

Ces informations sont utilisées lors d'une étape 50 de détermination des filtres d'adaptation permettant de prendre en compte les caractéristiques spatiales de l'ensemble de restitution 2 afin de définir des filtres d'adaptation du signal d'entrée multicanal à la configuration spatiale spécifique de l'ensemble de restitution 2.

Avantageusement, l'étape 10 permet également de déterminer des caractéristiques acoustiques pour tout ou partie des éléments  $3_1$  à  $3_N$  de l'ensemble de restitution 2.

Dans ce cas, le procédé comporte une étape 60 de détermination de filtres de compensation acoustique permettant de compenser l'influence des caractéristiques acoustiques spécifiques des éléments  $3_1$  à  $3_N$ .

Les filtres définis lors des étapes 50 et avantageusement 60, peuvent ainsi être mémorisés, de sorte que les étapes 10, 50 et 60 ne doivent être répétées qu'en cas de modification de la configuration spatiale de l'ensemble de restitution 2 et/ou de la nature du signal d'entrée multicanal.

Le procédé comporte ensuite une étape 70 de détermination des signaux de pilotage  $sc_1$  à  $sc_N$  destinés aux éléments de l'ensemble de restitution 2, comportant une sous-étape 80 d'application des filtres d'adaptation déterminés lors de l'étape 50 aux différents canaux  $c_1(t)$  à  $c_Q(t)$  formant le signal multicanal d'entrée  $S/$  et avantageusement, une sous-étape 90 d'application des filtres de compensation acoustique déterminés lors de l'étape 60.

Les signaux  $sc_1$  à  $sc_N$  ainsi délivrés, sont appliqués aux éléments  $3_1$  à  $3_N$  de l'ensemble de restitution 2, afin de restituer le champ acoustique représenté par le signal multicanal d'entrée  $S/$  avec une adaptation optimum aux caractéristiques spatiales et avantageusement acoustiques, de l'ensemble de restitution 2.

Il apparaît donc que grâce à la mise en œuvre du procédé de l'invention, les caractéristiques du champ acoustique restitué sont sensiblement indépendantes des caractéristiques intrinsèques de restitution de l'ensemble de restitution 2 et notamment de sa configuration spatiale.

On va maintenant décrire plus en détail les étapes principales du procédé de l'invention.

Lors de l'étape 20 de saisie de paramètres un opérateur ou un système de mémoire adapté peut spécifier tout ou partie des paramètres de calcul et notamment :

- des paramètres  $\vec{x}_n$  exprimés dans le repère sphérique au moyen des coordonnées  $r_n$ ,  $\theta_n$  et  $\phi_n$ , et représentatifs de la position des éléments  $3_n$  par rapport au centre d'écoute 5 ; et/ou
- des paramètres  $H_n(f)$ , représentatifs de la réponse en fréquence des éléments  $3_n$ .

Cette étape 20 est mise en œuvre au moyen d'une interface de type classique telle qu'un micro-ordinateur ou tout autre moyen approprié.

On va maintenant décrire plus en détail l'étape 30 de calibrage ainsi que des moyens de mise en œuvre de cette étape.

Sur la figure 4 on a représenté le détail de moyens de calibrage. Ils comportent un module 91 de décomposition, un module 92 de détermination de réponse impulsionnelle et un module 93 de détermination de paramètres de calibrage.

Les moyens de calibrage sont adaptés pour être connectés à un dispositif d'acquisition sonore 100 tel qu'un microphone ou tout autre dispositif adapté, et pour être connectés tour à tour à chaque élément  $3_n$  de l'ensemble de restitution 2 afin de prélever des informations sur cet élément.

Sur la figure 5, on a représenté le détail d'un mode de réalisation de l'étape 30 de calibrage mise en œuvre par les moyens de calibrage décrits précédemment et permettant de mesurer des caractéristiques de l'ensemble de restitution 2.

Lors d'une sous-étape 32, les moyens de calibrage émettent un signal spécifique  $u_n(t)$  tel qu'une séquence pseudo-aléatoire MLS (Maximum Length Sequence) à l'attention d'un élément  $3_n$ . Le dispositif d'acquisition 100 reçoit, lors d'une sous-étape 34, l'onde sonore émise par l'élément  $3_n$  en réponse à la réception du signal  $u_n(t)$  et transmet  $I$  signaux  $cp_1(t)$  à  $cp_I(t)$  représentatifs de l'onde reçue au module de décomposition 91.

Lors d'une sous-étape 36, le module de décomposition 91 décompose les signaux captés par le dispositif d'acquisition 100 en un nombre fini de coefficients de Fourier-Bessel  $q_{l,m}(t)$ .

Par exemple, le dispositif d'acquisition 100 est constitué de 4 capteurs de pression localisés aux 4 sommets d'un tétraèdre de rayon  $R$  ainsi que cela est représenté en référence à la figure 6. Les signaux des 4 capteurs de pression sont alors notés  $cp_1(t)$  à  $cp_4(t)$ . Les coefficients  $q_{0,0}(t)$  à  $q_{1,1}(t)$  représentatifs du champ acoustique capté se déduisent des signaux  $cp_1(t)$  à  $cp_4(t)$  selon les relations suivantes :

$$\begin{aligned} Q_{0,0}(f) &= \frac{1}{\sqrt{4\pi}} \frac{CP_1(f) + CP_2(f) + CP_3(f) + CP_4(f)}{4} \\ Q_{1,-1}(f) &= -\frac{3}{8\sqrt{\pi}} \frac{c}{2\pi j R f} (CP_1(f) - CP_2(f) + CP_3(f) - CP_4(f)) \\ Q_{1,0}(f) &= \frac{3}{8\sqrt{\pi}} \frac{c}{2\pi j R f} (CP_1(f) + CP_2(f) - CP_3(f) - CP_4(f)) \\ Q_{1,1}(f) &= \frac{3}{8\sqrt{\pi}} \frac{c}{2\pi j R f} (CP_1(f) - CP_2(f) - CP_3(f) + CP_4(f)) \end{aligned}$$

Dans ces relations  $CP_1(f)$  à  $CP_4(f)$  sont les transformées de Fourier de  $cp_1(t)$  à  $cp_4(t)$  et  $Q_{0,0}(f)$  à  $Q_{1,1}(f)$  sont les transformées de Fourier de  $q_{0,0}(t)$  à  $q_{1,1}(t)$ .

Lorsque ces coefficients sont définis par le module 91, ils sont adressés au module 92 de détermination de réponse.

Lors d'une sous-étape 38, le module 92 de détermination de réponse détermine les réponses impulsionnelles  $hp_{l,m}(t)$  qui relient les coefficients de Fourier-Bessel  $q_{l,m}(t)$  et le signal émis  $u_n(t)$ . La méthode de détermination dépend du signal spécifique émis. Le mode de réalisation décrit utilise une méthode adaptée aux signaux de type MLS, comme par exemple la méthode de corrélation.

La réponse impulsionnelle délivrée par le module 92 de détermination de réponse est adressée au module 93 de détermination de paramètres.

Lors d'une sous-étape 39, le module 93 déduit des informations sur des éléments de l'ensemble de restitution.

Dans le mode de réalisation décrit, le module 93 de détermination de paramètres détermine la distance  $r_n$  entre l'élément  $3_n$  et le centre 5 à partir de sa réponse  $hp_{0,0}(t)$  et de la mesure du temps mis par le son pour se propager de l'élément  $3_n$  au dispositif d'acquisition 100, grâce à des méthodes d'estimation de retard sur la réponse  $hp_{0,0}(t)$ .

La direction  $(\theta_n, \phi_n)$  de l'élément  $3_n$  est déduite par calcul du maximum de la transformée de Fourier sphérique inverse appliquée aux réponses  $hp_{0,0}(t)$  à  $hp_{1,1}(t)$  prises à l'instant  $t$  où  $hp_{0,0}(t)$  présente un maximum. Avantagusement, les coordonnées  $\theta_n$  et  $\phi_n$  sont estimées sur plusieurs instants, choisis de préférence

autour de l'instant où  $hp_{0,0}(t)$  présente un maximum. La détermination finale des coordonnées  $\theta_n$  et  $\phi_n$  est obtenue au moyen de techniques de moyennage entre les différentes estimations.

5 Ainsi, dans le mode de réalisation décrit, le dispositif d'acquisition 100 est en mesure d'encoder sans ambiguïté l'orientation d'une source dans l'espace.

En variante, les coordonnées  $\theta_n$  et  $\phi_n$  sont estimées à partir d'autres réponses parmi les  $hp_{l,m}(t)$  disponibles ou sont estimées dans le domaine fréquentiel à partir des réponses  $HP_{l,m}(f)$ , correspondant aux transformées de Fourier des réponses  $hp_{l,m}(t)$ .

10 Ainsi l'étape 30 permet de déterminer les paramètres  $r_n$ ,  $\theta_n$  et  $\phi_n$ .

Dans le mode de réalisation décrit, le module 93 délivre également la fonction de transfert  $H_n(f)$  de chaque élément  $3_n$ , à partir des réponses  $hp_{l,m}(t)$  issues du module 92 de détermination de réponse.

15 Une première solution consiste à construire la réponse  $hp'_{0,0}(t)$  correspondant à la sélection de la partie de la réponse  $hp_{0,0}(t)$  qui comporte un signal non nul et dénué des réflexions introduites par le lieu d'écoute 4. La réponse en fréquence  $H_n(f)$  est déduite par transformée de Fourier de la réponse  $hp'_{0,0}(t)$  préalablement fenêtrée. La fenêtre peut être choisie parmi les fenêtres classiques de lissage, comme par exemple rectangulaire, Hamming, Hanning, et Blackman.

20 Une seconde solution plus complexe consiste à appliquer un lissage sur le module et avantageusement sur la phase de la réponse en fréquence  $HP_{0,0}(f)$  obtenue par transformée de Fourier de la réponse  $hp_{0,0}(t)$ . Pour chaque fréquence  $f$ , le lissage est obtenu par convolution de la réponse  $HP_{0,0}(f)$  par une fenêtre centrée sur  $f$ . Cette convolution correspond à un moyennage de la réponse  $HP_{0,0}(f)$  autour de la fréquence  $f$ . La fenêtre peut être choisie parmi les fenêtres classiques, comme par exemple rectangulaires, triangles et Hamming. Avantageusement, la largeur de la fenêtre varie avec la fréquence. Par exemple, la largeur de la fenêtre peut être proportionnelle à la fréquence  $f$  à laquelle est appliquée le lissage. Par rapport à une fenêtre fixe, une fenêtre variable avec la

25

30 fréquence permet d'éliminer au moins partiellement l'effet de salle dans les hautes fréquences tout en évitant un effet de troncature de la réponse  $HP_{0,0}(f)$  dans les basses fréquences.

Les sous-étapes 32 à 39 sont répétées pour tous les éléments  $3_1$  à  $3_N$  de l'ensemble de restitution 2.



En variante, les moyens de calibrage comportent d'autres moyens d'acquisition d'informations relatives aux éléments  $3_1$  à  $3_N$ , tels que des moyens de mesure de position au laser, des moyens de traitement du signal mettant en œuvre des techniques de formation de voies ou tout autre moyen approprié.

5 Les moyens mettant en œuvre l'étape 30 de calibrage sont constitués par exemple d'une carte électronique ou d'un programme d'ordinateur ou de tout autre moyen approprié.

10 L'étape 40 permet ainsi que cela a été dit précédemment, de déterminer des paramètres décrivant le format du signal multicanal d'entrée et notamment les directions prédéterminées générales associées à chaque canal.

Cette étape 40 peut correspondre à une sélection par un opérateur d'un format parmi une liste de formats associés chacun à des paramètres mémorisés, et peut également correspondre à une détection automatique de format effectuée sur le signal multicanal d'entrée. Alternativement, le procédé est adapté  
15 pour un unique format de signal multicanal donné. Dans encore un autre mode de réalisation, l'étape 40 permet à un utilisateur de spécifier son propre format en saisissant manuellement les paramètres décrivant les directions associées à chaque canal.

20 Il apparaît que les étapes 20, 30 et 40 formant l'étape 10 de détermination de paramètres, permettent au moins la détermination de paramètres de positionnement dans l'espace des éléments  $3_n$  de l'ensemble de restitution 2 et du format du signal multicanal  $SI$ .

Sur la figure 7, on a représenté un organigramme détaillé de l'étape 50 de détermination des filtres d'adaptation.

25 Cette étape comporte une pluralité de sous-étapes de calcul et de détermination de matrices représentatives des paramètres déterminés préalablement.

Ainsi, lors d'une sous-étape 51, un paramètre  $L$ , appelé ordre limite représentatif de la précision spatiale souhaitée lors de l'étape 50 de détermination des filtres d'adaptation, est déterminé par exemple de la manière suivante :

- le plus petit angle  $a_{min}$  formé par une paire d'éléments de l'ensemble de restitution 2 est calculé automatiquement au moyen d'une relation trigonométrique, telle que par exemple :

$$a_{n1, n2} = \arccos(\sin\theta_{n1}\sin\theta_{n2}\cos(\phi_{n1}-\phi_{n2}) + \cos\theta_{n1}\cos\theta_{n2})$$

$$a_{min} = \min(a_{n1, n2})$$

parmi l'ensemble des couples  $(n1, n2)$  tels que  $n1 \neq n2$ ; et

- ensuite, l'ordre maximum  $L$  est déterminé automatiquement comme étant le plus grand entier respectant la relation suivant :

$$L < \pi / a_{min}.$$

L'étape 50 de détermination de filtres d'adaptation comprend ensuite une sous-étape 52 de détermination d'une matrice  $W$  de pondération du champ acoustique. Cette matrice  $W$  correspond à une fenêtre spatiale  $W(r, f)$  représentative de la répartition dans l'espace de la précision souhaitée lors de la reconstruction du champ. Une telle fenêtre permet de spécifier la taille et la forme de la zone où le champ doit être correctement reconstruit. Par exemple, il peut s'agir d'une boule centrée sur le centre 5 de l'ensemble de restitution. Dans le mode de réalisation décrit, la fenêtre spatiale et la matrice  $W$  sont indépendantes de la fréquence.

$W$  est une matrice diagonale de taille  $(L+1)^2$  contenant des coefficients de pondération  $W_l$  et dans laquelle chaque coefficient  $W_l$  se trouve  $2l+1$  fois à la suite sur la diagonale. La matrice  $W$  a donc la forme suivante :

$$W = \begin{bmatrix} W_0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & W_1 & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & W_1 & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & W_1 & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & W_L \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & 0 & W_L \end{bmatrix}$$

Dans le mode de réalisation décrit, les valeurs prises par les coefficients  $W_l$  sont les valeurs d'une fonction telle qu'une fenêtre de Hamming de taille de  $2L+1$  évaluée en  $l$ , de sorte que le paramètre  $W_l$  est déterminé pour  $l$  allant de 0 à  $L$ .

L'étape 50 comporte ensuite une sous-étape 53 de détermination d'une matrice  $M$  représentative du rayonnement de l'ensemble de restitution notamment à partir des paramètres de position  $\vec{x}_n$ . La matrice de rayonnement  $M$  permet de déduire des coefficients de Fourier-Bessel représentant le champ acoustique qu'émet chaque élément  $3_n$  de l'ensemble de restitution en fonction du signal qu'il reçoit.

$M$  est une matrice de taille  $(L+1)^2$  sur  $N$ , constituée d'éléments  $M_{l,m,n}$ , les indices  $l,m$  désignant la ligne  $l^2+l+m$  et  $n$  désignant la colonne  $n$ . La matrice  $M$  a donc la forme suivante :

5

$$\begin{bmatrix} M_{0,0,1} & M_{0,0,2} & \cdots & M_{0,0,N} \\ M_{1,-1,1} & M_{1,-1,2} & \cdots & M_{1,-1,N} \\ M_{1,0,1} & M_{1,0,2} & \cdots & M_{1,0,N} \\ M_{1,1,1} & M_{1,1,2} & \cdots & M_{1,1,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{L,-L,1} & M_{L,-L,2} & \cdots & M_{L,-L,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{L,0,1} & M_{L,0,2} & \cdots & M_{L,0,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{L,L,1} & M_{L,L,2} & \cdots & M_{L,L,N} \end{bmatrix}$$

Dans le mode de réalisation décrit, les éléments  $M_{l,m,n}$  s'obtiennent à partir d'un modèle de rayonnement en ondes planes, de sorte que :

$$M_{l,m,n} = y_l^m(\theta_n, \phi_n)$$

La matrice  $M$  ainsi définie est représentative du rayonnement de l'ensemble de restitution. En particulier,  $M$  est représentative de la configuration spatiale de l'ensemble de restitution.

Les sous-étapes 51 à 53 peuvent être exécutées séquentiellement ou simultanément.

L'étape 50 de détermination de filtres d'adaptation comprend ensuite une sous-étape 54 de prise en compte de l'ensemble des paramètres du système de restitution 2 déterminés précédemment, afin de délivrer une matrice  $D$  de décodage représentative de filtres dits de reconstruction.

En effet, les éléments  $D_{n,l,m}(f)$  de la matrice  $D$  correspondent à des filtres de reconstruction qui, appliqués aux coefficients de Fourier-Bessel  $P_{l,m}(f)$  d'un champ acoustique connu, permettent de déterminer les signaux de pilotage d'un ensemble de restitution pour reproduire ce champ acoustique.

La matrice de décodage  $D$  est donc l'inverse de la matrice de rayonnement  $M$ .

---

La matrice  $D$  est obtenue à partir de la matrice  $M$  au moyen de méthodes d'inversion sous contraintes faisant intervenir des paramètres d'optimisation supplémentaires.

---

Dans le mode de réalisation décrit, l'étape 50 est adaptée pour réaliser une optimisation grâce à la matrice de pondération du champ acoustique  $W$  qui

permet notamment de réduire la distorsion spatiale dans le champ acoustique reproduit.

Cette matrice  $D$  est délivrée notamment à partir de la matrice  $M$ , selon l'expression suivante :

$$D = (M^T W M)^{-1} M^T W$$

dans laquelle  $M^T$  est la matrice transposée conjuguée de  $M$ .

Dans le mode de réalisation décrit, les matrices  $M$  et  $W$  sont indépendantes de la fréquence, de sorte que la matrice  $D$  est également indépendante de la fréquence. Elle est constituée d'éléments notés  $D_{n,l,m}$  organisés de la manière suivante :

$$\begin{bmatrix} D_{1,0,0} & D_{1,1,-1} & D_{1,1,0} & D_{1,1,1} & \cdots & D_{1,L,-L} & \cdots & D_{1,L,0} & \cdots & D_{1,L,L} \\ D_{2,0,0} & D_{2,1,-1} & D_{2,1,0} & D_{2,1,1} & \cdots & D_{2,L,-L} & \cdots & D_{2,L,0} & \cdots & D_{2,L,L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ D_{N,0,0} & D_{N,1,-1} & D_{N,1,0} & D_{N,1,1} & \cdots & D_{N,L,-L} & \cdots & D_{N,L,0} & \cdots & D_{N,L,L} \end{bmatrix}$$

L'étape 54 permet ainsi de délivrer la matrice  $D$  représentative de filtres dits de reconstruction et permettant la reconstruction d'un champ acoustique à partir d'une configuration quelconque de l'ensemble de restitution. Grâce à cette matrice, le procédé de l'invention permet de prendre en compte la configuration de l'ensemble de restitution 2 et notamment de compenser les altérations du champ acoustique dues à sa configuration spatiale spécifique.

En variante, les paramètres relatifs à l'ensemble de restitution 2 peuvent être variables en fonction de la fréquence.

Par exemple, dans un tel mode de réalisation, chaque élément  $D_{n,l,m}(f)$  de la matrice  $D$  peut être déterminé en associant à chacun des  $N$  signaux de pilotage une fonction de directivité  $D_n(\theta, \phi, f)$  spécifiant à chaque fréquence  $f$  l'amplitude, et avantageusement la phase souhaitée sur le signal de pilotage  $sc_n$  dans le cas d'une onde plane dans la direction  $(\theta, \phi)$ .

On entend par fonction de directivité  $D_n(\theta, \phi, f)$  une fonction qui associe une valeur réelle ou complexe, éventuellement fonction de la fréquence ou d'une plage de fréquences, à chaque direction de l'espace.

Dans le mode de réalisation décrit, les fonctions de directivités sont indépendantes de la fréquence et notés  $D_n(\theta, \phi)$ .

Ces fonctions de directivité  $D_n(\theta, \phi)$  peuvent être déterminées en spécifiant que certaines grandeurs physiques entre un champ idéal et le même champ

reproduit par l'ensemble de restitution respectent des lois prédéterminées. Par exemple, ces grandeurs peuvent être la pression au centre et l'orientation du vecteur vitesse. Dans certains cas, on souhaite que seulement 3 signaux de pilotage soient actifs pour reproduire une onde plane. Les signaux de pilotage actifs, notés  $sc_{n1}$  à  $sc_{n3}$ , sont ceux qui alimentent les éléments de restitution dont les directions sont les plus proches de la direction  $(\theta, \phi)$  de l'onde plane. Les éléments de restitution actifs, notés  $3_{n1}$  à  $3_{n3}$ , forment un triangle contenant la direction  $(\theta, \phi)$  de l'onde plane. Dans ce cas, les valeurs des directivités  $D_{n1}(\theta, \phi)$  à  $D_{n3}(\theta, \phi)$  associés aux 3 éléments actifs  $3_{n1}$  à  $3_{n3}$  sont donnés par :

$$\alpha = \frac{\Gamma^{-1}r}{\mathbf{1}^T \Gamma^{-1}r}$$

avec

$$\Gamma = \begin{pmatrix} \sin \theta_{n1} \cos \phi_{n1} & \sin \theta_{n2} \cos \phi_{n2} & \sin \theta_{n3} \cos \phi_{n3} \\ \sin \theta_{n1} \sin \phi_{n1} & \sin \theta_{n2} \sin \phi_{n2} & \sin \theta_{n3} \sin \phi_{n3} \\ \cos \theta_{n1} & \cos \theta_{n2} & \cos \theta_{n3} \end{pmatrix} \quad r = \begin{pmatrix} \sin \theta \cos \phi \\ \sin \theta \sin \phi \\ \cos \theta \end{pmatrix} \quad \mathbf{1} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Dans cette relation,  $\alpha$  correspond au vecteur contenant  $[D_{n1}(\theta, \phi) \dots D_{n3}(\theta, \phi)]$  et les directions  $(\theta_{n1}, \phi_{n1})$ ,  $(\theta_{n2}, \phi_{n2})$  et  $(\theta_{n3}, \phi_{n3})$  correspondent respectivement aux directions des éléments  $3_{n1}$ ,  $3_{n2}$  et  $3_{n3}$ .

On considère que les valeurs des directivités  $D_n(\theta, \phi)$  correspondant aux éléments de restitution non actifs sont nulles.

La relation précédente est répétée pour  $K$  directions  $(\theta_k, \phi_k)$  d'ondes planes différentes. Ainsi, chacune des fonctions de directivité  $D_n(\theta, \phi)$  est fournie sous la forme d'une liste de  $K$  échantillons. Chaque échantillon est fourni sous la forme d'un couple  $\{((\theta_k, \phi_k), D_n(\theta_k, \phi_k))\}$  où  $(\theta_k, \phi_k)$  est la direction de l'échantillon  $k$  et où  $D_n(\theta_k, \phi_k)$  est la valeur de la fonction de directivité associée au signal de pilotage  $sc_n$  pour la direction  $(\theta_k, \phi_k)$ .

Pour chaque fréquence  $f$ , les coefficients  $D_{n,l,m}(f)$  de chaque fonction de directivité sont déduits des échantillons  $\{((\theta_k, \phi_k), D_n(\theta_k, \phi_k))\}$ . Ces coefficients sont obtenus par inversion du processus d'échantillonnage angulaire qui permet de déduire les échantillons de la liste  $\{((\theta_k, \phi_k), D_n(\theta_k, \phi_k))\}$  à partir d'une fonction de directivité fournie sous forme de coefficients d'harmoniques sphériques. Cette inversion peut prendre différentes formes afin de contrôler l'interpolation entre les échantillons.

Dans d'autres modes de réalisation, les fonctions de directivité sont directement fournies sous la forme de coefficients  $D_{n,l,m}(f)$  de type Fourier- Bessel.

Les coefficients  $D_{n,l,m}(f)$  ainsi déterminés sont utilisés pour former la matrice  $\mathcal{D}$ .

L'étape 50 comporte ensuite une étape 55 de détermination d'une matrice de rayonnement multicanale idéale  $\mathcal{S}$  représentative des directions générales prédéterminées associées à chaque canal du signal multicanal d'entrée  $S_I$ .

La matrice  $\mathcal{S}$  est représentative du rayonnement d'un ensemble de restitution idéal, c'est à dire respectant parfaitement les directions générales prédéterminées du format multicanal. Chaque élément  $S_{l,m,q}(f)$  de la matrice  $\mathcal{S}$  permet de déduire les coefficients de Fourier-Bessel  $P_{l,m}(f)$  du champ acoustique idéalement restitué par chaque canal  $c_q(t)$ .

La matrice  $\mathcal{S}$  est déterminée en associant à chaque canal d'entrée  $c_q(t)$  et avantageusement pour chaque fréquence  $f$ , une figure de directivité représentative d'une distribution de sources supposées émettre le signal du canal  $c_q(t)$ .

La distribution de sources est donnée sous la forme de coefficients d'harmoniques sphériques  $S_{l,m,q}(f)$ . Les coefficients  $S_{l,m,q}(f)$  sont rangés dans la matrice  $\mathcal{S}$  de taille  $(L+1)^2$  sur  $Q$ , où  $Q$  est le nombre de canaux.

Dans le mode de réalisation décrit, l'étape de mise en forme associe à chaque canal  $c_q(t)$  une source d'onde plane orientée dans la direction  $(\theta_q, \phi_q)$ , correspondant à la direction  $(\theta_q, \phi_q)$  associée au canal  $c_q(t)$  dans le format multicanal d'entrée. Les coefficients  $S_{l,m,q}(f)$  sont alors indépendants de la fréquence. Ils sont notés  $S_{l,m,q}$  et s'obtiennent par la relation :

$$S_{l,m,q} = y_l^m(\theta_q, \phi_q)$$

Dans d'autres modes de réalisation, la matrice de rayonnement idéale  $\mathcal{S}$  associe une distribution discrète de sources d'ondes planes à certains canaux pour simuler l'effet d'une ceinture de haut-parleurs. Dans ce cas, les coefficients  $S_{l,m,q}$  sont obtenus par sommation des contributions de chacune des sources élémentaires.

Dans encore d'autres modes de réalisation, la matrice de rayonnement idéale  $\mathcal{S}$  associe certains canaux  $c_q(t)$  à une distribution continue de sources d'ondes planes décrite par une fonction de directivité  $S_q(\theta, \phi)$ . Dans ce cas, les coefficients  $S_{l,m,q}$  de la matrice  $\mathcal{S}$  sont obtenus directement par transformée de Fourier Sphérique de la fonction de directivité  $S_q(\theta, \phi)$ . Dans ces modes de réalisation, la matrice  $\mathcal{S}$  est indépendante de la fréquence.

Dans d'autres modes de réalisation plus complexes la matrice  $S$  associe à certains canaux, une distribution de sources produisant un champ diffus. Dans ce cas, la matrice  $S$  varie avec la fréquence. Ces modes de réalisation sont adaptés aux formats multicanaux qui considèrent différemment les canaux avants et arrières. Par exemple, dans les applications destinées à la restitution dans des salles cinéma, les canaux arrières sont souvent destinés à recréer une ambiance diffuse.

Dans d'autres modes de réalisation, la matrice  $S$  associe à certains canaux des sources sonores dont la réponse n'est pas plate. Par exemple, dans le cas où le format multicanal associe au canal  $c_q(t)$  une source d'onde plane de réponse en fréquence  $H^{(q)}(f)$ , les  $S_{l,m,q}(f)$  varient avec la fréquence et s'obtiennent par la relation :

$$S_{l,m,q}(f) = y_l^m(\theta_q, \phi_q) H^{(q)}(f)$$

Si le format multicanal associe à certains canaux une superposition des types de distributions de sources pré-citées, les coefficients  $S_{l,m,q}(f)$  de la matrice de rayonnement s'obtiennent par sommation des coefficients associés à chaque type de distribution de source.

Enfin, l'étape 50 comporte une sous-étape 56 de détermination d'une matrice d'adaptation spatiale  $A$  correspondant aux filtres d'adaptation à appliquer au signal d'entrée multicanal pour obtenir une restitution optimum prenant en compte la configuration spatiale de l'ensemble de restitution 2.

La matrice d'adaptation spatiale  $A$  est obtenue à partir des matrices de mise en forme  $S$  et de décodage  $D$  au moyen de la relation :

$$A = DS$$

La matrice d'adaptation  $A$  permet de générer des signaux  $sa_l(t)$  à  $sa_N(t)$  adaptés à la configuration spatiale de l'ensemble de restitution à partir des canaux  $c_l(t)$  à  $c_Q(t)$ . Chaque élément  $A_{n,q}(f)$  est un filtre spécifiant la contribution du canal  $c_q(t)$  au signal adapté  $sa_n(t)$ . Grâce à la matrice d'adaptation  $A$ , le procédé de l'invention permet la restitution optimum du champ acoustique décrit par le signal multicanal par un ensemble de restitution de configuration spatiale quelconque.

Dans le mode de réalisation décrit, les matrices  $D$  et  $S$  sont indépendantes de la fréquence et la matrice  $A$  également. Dans ce cas, les éléments de la matrice  $A$  sont des constantes notées  $A_{n,q}$  et chacun des signaux adaptés  $sa_l(t)$

à  $sa_M(t)$  s'obtient par de simples combinaisons linéaires des canaux d'entrée  $c_I(t)$  à  $c_Q(t)$ , le cas échéant suivies de retard ainsi qu'il sera décrit ci-après.

Les filtres représentés par la matrice  $A$  peuvent être mis en œuvre sous différentes formes de filtres et /ou méthodes de filtrage. Dans le cas où les filtres utilisés sont paramétrés directement avec des réponses en fréquence, les coefficients  $A_{n,q}(f)$  sont directement délivrés par l'étape 50. Avantageusement, l'étape 50 de détermination de filtres d'adaptation comprend une sous-étape 57 de conversion afin de déterminer les paramètres des filtres pour d'autres méthodes de filtrage.

- 10 Par exemple, les combinaisons de filtrage  $A_{n,q}(f)$  sont converties en :
- des réponses impulsionnelles finies  $a_{n,q}(t)$  calculées par transformée de Fourier temporelle inverse de  $A_{n,q}(f)$ , chaque réponse impulsionnelle  $a_{n,q}(t)$  est échantillonnée puis tronquée à une longueur propre à chaque réponse ; ou
  - 15 - des coefficients de filtres récurrents à réponses impulsionnelles infinies calculées à partir des  $A_{n,q}(f)$  avec des méthodes d'adaptation.

A l'issue de l'étape 50 les paramètres des filtres d'adaptation  $A_{n,q}(f)$  sont fournis.

- L'étape 60 permet ainsi que cela a été dit précédemment, de déterminer les filtres de compensation des caractéristiques acoustiques des éléments de l'ensemble de restitution 2 dans le cas où des paramètres relatifs à ces caractéristiques acoustiques tels que les réponses en fréquence  $H_n(f)$ , sont déterminés lors de l'étape 10 de détermination des paramètres.

- La détermination de tels filtres, notés  $H_n^0(f)$ , à partir des réponses en fréquence  $H_n(f)$ , peut être réalisée de manière classique en appliquant des méthodes d'inversion de filtres, comme par exemple l'inversion directe, les méthodes de déconvolution, les méthodes Wiener ou d'autres.

En fonction des modes de réalisation, la compensation porte uniquement sur l'amplitude de la réponse ou encore sur l'amplitude et la phase.

- 30 Cette étape 60 permet de déterminer un filtre de compensation pour chaque élément  $3_n$  de l'ensemble de restitution 2 en fonction de ses caractéristiques acoustiques spécifiques.

De même que précédemment, ces filtres peuvent être mis en œuvre sous différentes formes de filtres et/ou méthodes de filtrage. Dans le cas où les



filtres utilisés sont paramétrés directement avec des réponses en fréquence, les réponses  $H_n^{(0)}(f)$  sont directement appliquées. Avantageusement, l'étape 60 de détermination de filtres de compensation comprend une sous-étape de conversion afin de déterminer les paramètres des filtres pour d'autres méthodes de fil-

5 trage.

Par exemple, les combinaisons de filtrage  $H_n^{(0)}(f)$  sont converties en :

- des réponses impulsionnelles finies  $h_n^{(0)}(t)$  calculées par transformée de Fourier temporelle inverse de  $H_n^{(0)}(f)$ , chaque réponse impulsionnelle  $h_n^{(0)}(t)$  est échantillonnée puis tronquée à une longueur propre
- 10 à chaque réponse ; ou
- des coefficients de filtres récursifs à réponses impulsionnelles infinies calculées à partir des  $H_n^{(0)}(f)$  avec des méthodes d'adaptation.

A l'issue de l'étape 60 les paramètres des filtres de compensation  $H_n^{(0)}(f)$  sont fournis.

15 On va maintenant décrire plus en détail l'étape 70 de détermination de signaux de pilotage.

Cette étape 70 comporte une sous-étape 80 d'application des filtres d'adaptation représentés par la matrice  $A$  au signal multicanal d'entrée  $S/$  correspondant au champ acoustique à restituer. Ainsi que cela a été dit précédemment,

20 les filtres d'adaptation  $A_{n,q}(f)$  intègrent les paramètres caractéristiques de l'ensemble de restitution 2.

Lors de la sous-étape 80, des signaux adaptés  $sa_1(t)$  à  $sa_N(t)$  sont obtenus par l'application des filtres d'adaptation  $A_{n,q}(f)$  aux canaux  $c_1(t)$  à  $c_Q(t)$  du signal  $S/$ .

25 Dans le mode de réalisation décrit, la matrice d'adaptation  $A$  est indépendante de la fréquence et les coefficients d'adaptation  $A_{n,q}$  sont appliqués de la façon suivante :

$$v_n(t) = \sum_{q=1}^Q c_q(t) A_{n,q}$$

L'adaptation se poursuit par un ajustement des gains et l'application

30 de retards afin d'aligner temporellement les fronts d'onde des éléments  $3_1$  à  $3_N$  de l'ensemble de restitution 2 par rapport à l'élément le plus éloigné. Les signaux adaptés  $sa_1(t)$  à  $sa_N(t)$  se déduisent des signaux  $v_1(t)$  à  $v_N(t)$  selon l'expression :

$$sa_n(t) = r_n \, v_n \left( t - \frac{\max(r_n) - r_n}{c} \right)$$

Dans d'autres modes de réalisation, la matrice d'adaptation  $A$  varie avec la fréquence et les filtres d'adaptation  $A_{n,q}(f)$  sont appliqués de la façon suivante :

$$5 \quad V_n(f) = \sum_{q=1}^Q C_q(f) A_{n,q}(f)$$

avec  $C_q(f)$  la transformée de Fourier temporelle du canal  $c_q(t)$  et  $V_n(f)$  défini par :

$$V_n(f) = \frac{SA_n(f)}{r_n} e^{-2\pi j r_n f / c}$$

où  $SA_n(f)$  est la transformée de Fourier temporelle de  $sa_n(t)$ .

10 Selon la forme des paramètres des filtres d'adaptation  $A_{n,q}(f)$ , chaque filtrage des canaux  $c_q(t)$  par les filtres d'adaptation  $A_{n,q}(f)$  peut être réalisé selon des méthodes classiques de filtrage, telles que par exemple :

- les paramètres sont directement les réponses en fréquence  $A_{n,q}(f)$ , et le filtrage est effectué dans le domaine fréquentiel, par exemple, à l'aide des techniques usuelles de convolution par blocs ;
- 15 - les paramètres sont directement les réponses impulsionnelles finies  $a_{n,q}(t)$ , et le filtrage est effectué dans le domaine temporel par convolution ; ou
- les paramètres sont les coefficients de filtres récursifs à réponses impulsionnelles infinies, et le filtrage est effectué dans le domaine temporel au moyen des relations de récurrence.

20 La sous étape 80 se termine par un ajustement des gains et l'application de retards afin d'aligner temporellement les fronts d'onde des éléments  $3_1$  à  $3_N$  de l'ensemble de restitution 2 par rapport à l'élément le plus éloigné. Les signaux adaptés  $sa_1(t)$  à  $sa_N(t)$  se déduisent des signaux  $v_1(t)$  à  $v_N(t)$  selon l'expression :

$$25 \quad sc_n(t) = r_n \, v_n \left( t - \frac{\max(r_n) - r_n}{c} \right)$$

Sur la figure 8, on a représenté la structure de filtrage correspondant à la sous étape 80 d'application des filtres d'adaptation spatiale telle que décrite précédemment.

30 Avantageusement, l'étape 70 comporte une sous-étape 90 de compensation des caractéristiques acoustiques de l'ensemble de restitution. Chaque

filtre de compensation  $H_n^{(0)}(f)$  est appliqué au signal adapté  $sa_n(t)$  correspondant afin d'obtenir le signal de pilotage  $sc_n(t)$  de l'élément  $3_n$ , selon la relation :

$$SC_n(f) = SA_n(f) H_n^{(0)}(f)$$

où  $SC_n(f)$  est la transformée de Fourier temporelle de  $sc_n(t)$  et où  $SA_n(f)$  est la transformée de Fourier temporelle de  $sa_n(t)$ .

L'application des filtres de compensation  $H_n^{(0)}(f)$  des caractéristiques acoustiques est décrite en référence à la figure 9.

Selon la forme des paramètres de ces filtres, chaque filtrage des signaux  $sa_n(t)$  peut être réalisé selon des méthodes classiques de filtrage, telles que par exemple :

- dans le cas où les paramètres de filtrage sont des réponses en fréquence  $H_n^{(0)}(f)$ , le filtrage peut être effectué au moyen de méthodes de filtrage dans le domaine fréquentiel, comme par exemple des techniques de convolution par bloc ;
- dans le cas où les paramètres de filtrage sont des réponses impulsionnelles  $h_n^{(0)}(t)$ , le filtrage peut être effectué dans le domaine temporel par convolution temporelle ;
- dans le cas où les paramètres de filtrage sont des coefficients de relations de récurrence, le filtrage peut être réalisé dans le domaine temporel au moyen de filtres récursifs à réponse impulsionnelle infinie.

Dans certains modes de réalisation simplifiés, le procédé de l'invention ne compense pas les caractéristiques acoustiques spécifiques des éléments de l'ensemble de restitution. Dans ce cas, l'étape 60 ainsi que la sous-étape 90 ne sont pas réalisées et les signaux adaptés  $sa_1(t)$  à  $sa_N(t)$  correspondent directement aux signaux de pilotage  $sc_1$  à  $sc_N$ .

Par l'application du procédé de l'invention, chaque élément  $3_1$  à  $3_N$  reçoit donc un signal de pilotage spécifique  $sc_1$  à  $sc_N$  et émet un champ acoustique qui contribue à la reconstruction optimale du champ acoustique à restituer. En effet, le pilotage simultané de l'ensemble des éléments  $3_1$  à  $3_N$  permet une reconstruction optimale du champ acoustique correspondant au signal multicanal d'entrée par l'ensemble de restitution 2 dont la configuration spatiale est quelconque, soit encore ne correspond pas à une configuration fixe.

Par ailleurs, d'autres modes de réalisation du procédé de l'invention peuvent être envisagés et notamment des modes de réalisation inspirés de techniques décrites dans la demande de brevet en France déposée le 28 février 2002, sous le n° 02 02 585.

- 5                   Notamment, l'étape 50 de détermination des filtres d'adaptation spatiale peut prendre en compte de nombreux paramètres d'optimisation tel que :
- $G_n(f)$ , représentatif du gabarit de l'élément  $3_n$  de l'ensemble de restitution spécifiant la bande de fréquence de fonctionnement de cet élément ;
  - $N_{l,m,n}(f)$ , représentatif de la réponse spatio-temporelle de l'élément
  - 10  $3_n$  correspondant au champ acoustique produit dans le lieu d'écoute 4 par l'élément  $3_n$ , lorsque celui-ci reçoit en entrée un signal impulsionnel ;
  - $W(r,f)$ , décrivant pour chaque fréquence  $f$  considérée une fenêtre spatiale représentative de la répartition dans l'espace de contraintes de reconstruction du champ acoustique, ces contraintes permettant de spécifier la réparti-
  - 15 tion dans l'espace de l'effort de reconstruction du champ acoustique ;
  - $W_l(f)$ , décrivant directement sous forme de pondération des coefficients de Fourier-Bessel et pour chaque fréquence  $f$  considérée, une fenêtre spatiale représentative de la répartition dans l'espace de contraintes de reconstruction du champ acoustique ;
  - 20 -  $R(f)$ , représentatif, pour chaque fréquence  $f$  considérée, du rayon de la fenêtre spatiale lorsque celle-ci est une boule ;
  - $\mu(f)$ , représentatif, pour chaque fréquence  $f$  considérée, de la capacité d'adaptation locale souhaitée à l'irrégularité spatiale de la configuration de l'ensemble de restitution ;
  - 25 -  $\{(l_k, m_k)\}(f)$ , constituant pour chaque fréquence  $f$  considérée, une liste de fonctions spatio-temporelles dont la reconstruction est imposée ;
  - $L(f)$ , imposant, pour chaque fréquence  $f$  considérée, l'ordre limite de détermination de filtres ;
  - $RM(f)$ , définissant, pour chaque fréquence  $f$  considérée, le modèle de
  - 30 rayonnement des éléments  $3_1$  à  $3_N$  de l'ensemble de restitution 2.

Tout ou partie de ces paramètres d'optimisation peuvent intervenir lors de la sous-étape 54 de détermination de la matrice de décodage  $D$ . Ainsi, comme cela est décrit dans la demande de brevet en France déposée sous le numéro 02 02 585, les paramètres  $N_{l,m,n}(f)$  et  $RM(f)$  interviennent dans la sous-étape 53 de

détermination de la matrice de rayonnement  $M$ , les paramètres  $W(r,f)$ ,  $W_i(f)$ ,  $R(f)$  interviennent dans la sous-étape 52 de détermination de la matrice  $W$ , les paramètres  $\{(l_k, m_k)\}(f)$  interviennent dans une sous-étape supplémentaire dans la détermination d'une matrice  $F$ . La matrice de décodage  $D$  est alors déterminée  
 5 lors de la sous-étape 54, pour chaque fréquence  $f$ , en fonction des matrices  $M$ ,  $W$  et  $F$  et des paramètres  $G_n(f)$  et  $\mu(f)$ .

Toujours, selon la demande de brevet 02 02 585, le calcul de la matrice  $D$  peut être effectué fréquence par fréquence en considérant uniquement les éléments actifs pour chaque fréquence considérée. Cette méthode de détermination  
 10 tion de la matrice  $D$  fait intervenir le paramètre  $G_n(f)$  et permet d'exploiter au mieux un ensemble de restitution dont les éléments ont des bandes de fréquences de fonctionnement différentes.

Il apparaît que la mise en oeuvre du procédé de l'invention décrit ici est plus efficace et donc plus rapide que les procédés existants et notamment  
 15 que le procédé décrit dans la demande de brevet français déposée sous le numéro 02 02 585.

En effet, pour adapter un signal multicanal comportant  $Q$  canaux à un ensemble de restitution comportant  $N$  éléments avec une précision spatiale d'ordre  $L$ , il apparaît que le procédé de l'invention nécessite  $Q \times N$  filtres  
 20 d'adaptation au lieu des  $Q(L+1)^2 + (L+1)^2 N$  filtres nécessaires à la mise en oeuvre du procédé décrit dans la demande de brevet en France déposée sous le n° 02 02 585.

Par exemple, l'adaptation d'un signal « 5.1 ITU-R BF 775-1 » à un ensemble de restitution à 5 haut parleurs avec une précision d'ordre 5 nécessite 25  
 25 filtres au lieu de 360 filtres.

Sur la figure 10, on a représenté un schéma d'un mode de réalisation d'un appareil mettant en oeuvre le procédé tel que décrit précédemment.

Cet appareil comprend l'adaptateur 1 qui est formé d'une unité 110 délivrant un signal multicanal telle qu'une unité de lecture de disques audio-vidéo  
 30 dite lecteur DVD 112. Le signal multicanal délivré par l'unité 110 est destiné aux éléments de l'ensemble de restitution 2. Le format de ce signal SI est reconnu automatiquement par l'adaptateur 1 qui est adapté pour lui faire correspondre des paramètres décrivant la direction générale prédéterminée associée à chaque canal du signal SI.

Selon l'invention, cet adaptateur 1 intègre également une unité de calcul supplémentaire 114 ainsi que des moyens de saisie d'informations 116.

Par exemple, les moyens de saisie 116 sont formés d'une interface infrarouge avec une télécommande ou encore avec un ordinateur et permettent à un utilisateur de déterminer les paramètres définissant les positions dans l'espace des éléments de restitution  $3_1$  à  $3_N$ .

Ces différents paramètres sont utilisés par le calculateur 114 pour déterminer la matrice  $A$  définissant les filtres d'adaptation.

Ultérieurement, le calculateur 114 applique ces filtres d'adaptation au signal multicanal  $S$  afin de délivrer les signaux de pilotage  $sc_1$  à  $sc_N$  à destination de l'ensemble de restitution 2.

Bien entendu, le dispositif mettant en œuvre l'invention peut prendre d'autres formes, telles qu'un logiciel mis en œuvre sur un ordinateur ou encore un dispositif complet intégrant des moyens de calibrage ainsi que des moyens de saisie et de détermination des caractéristiques de l'ensemble de restitution plus complet.

Ainsi, le procédé peut également être mis en œuvre sous la forme d'un dispositif dédié à l'optimisation de systèmes de restitution multicanal, extérieur à un décodeur audio-vidéo et associé à celui-ci. Dans ce cas, le dispositif est adapté pour recevoir en entrée un signal multicanal et délivrer en sortie des signaux de pilotage d'éléments d'un ensemble de restitution.

Avantageusement, le dispositif est adapté pour être connecté au dispositif 100 d'acquisition nécessaire à l'étape de calibrage et/ou est muni d'une interface permettant de saisir des paramètres, notamment, la position des éléments de l'ensemble de restitution et éventuellement le format multicanal d'entrée.

Un tel dispositif d'acquisition 100 peut être relié de manière filaire ou non filaire (radio, infra-rouge) et peut être intégré à un accessoire, comme une télécommande, ou être indépendant.

Le procédé peut être mis en œuvre par un dispositif intégré dans un élément d'une chaîne audio-vidéo chargé du traitement de signaux multicanal, comme par exemple un processeur ou décodeur dit « surround », un amplificateur audio-vidéo intégrant des fonctions de décodage multicanal ou encore une chaîne audio-vidéo complètement intégrée.

Le procédé de l'invention peut également être mis en œuvre dans une carte électronique ou dans une puce dédiée. Avantageusement, il peut être intégré sous la forme d'un programme dans un processeur de traitement de signal (DSP).

- 5            Le procédé peut prendre la forme d'un programme informatique destiné à être exécuté par un ordinateur. Le programme reçoit en entrée un signal multicanal et délivre les signaux de pilotage d'un ensemble de restitution éventuellement intégré à cet ordinateur.

- 10           Par ailleurs, les moyens de calibrage peuvent être réalisés en mettant en œuvre un procédé différent de celui décrit précédemment, tel que par exemple, un procédé inspiré de techniques décrites dans la demande de brevet en France déposée le 7 mai 2002 sous le numéro 02 05 741.
- 
-

## REVENDEICATIONS

1. Procédé de pilotage d'un ensemble de restitution (2) d'un champ acoustique comportant une pluralité d'éléments de restitution ( $3_n$ ) à partir d'une pluralité de signaux d'entrée d'informations acoustiques (SI) associés chacun à une direction générale de restitution prédéterminée définie par rapport à un point donné (5) de l'espace, pour obtenir un champ acoustique restitué de caractéristiques spécifiques sensiblement indépendantes des caractéristiques intrinsèques de restitution dudit ensemble (2), caractérisé en ce qu'il comporte :

  - une étape (10) de détermination de caractéristiques au moins spatiales dudit ensemble de restitution (2), permettant la détermination de paramètres représentatifs pour au moins un élément ( $3_n$ ) dudit ensemble de restitution (2) de sa position dans les trois dimensions de l'espace par rapport audit point donné (5) ;
  - une étape (50) de détermination de filtres d'adaptation (A) à partir desdites caractéristiques au moins spatiales dudit ensemble de restitution (2) et desdites directions générales de restitution prédéterminée associées à ladite pluralité de signaux d'entrée d'informations acoustiques (SI) ;
  - une étape (70) de détermination d'au moins un signal de pilotage desdits éléments dudit ensemble de restitution par l'application desdits filtres d'adaptation à ladite pluralité de signaux d'entrée d'informations acoustiques (SI); et
  - une étape de délivrance dudit au moins un signal de pilotage en vue d'une application auxdits éléments de restitution ( $3_n$ ).
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite étape (10) de détermination de caractéristiques au moins spatiales dudit ensemble de restitution (2), comporte une sous-étape (20) de saisie permettant de déterminer tout ou partie des caractéristiques dudit ensemble de restitution (2).
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que ladite étape (10) de détermination de caractéristiques au moins spatiales dudit ensemble de restitution (2), comporte une étape (30) de calibrage permettant de délivrer tout ou partie des caractéristiques dudit ensemble de restitution (2).



4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite sous-étape de calibrage (30) comporte pour au moins un des éléments de restitution ( $3_n$ ) :

- une sous-étape d'émission (32) d'un signal spécifique ( $u_n(t)$ ) vers le-  
5 dit au moins un élément ( $3_n$ ) dudit ensemble de restitution (2) ;
- une sous-étape d'acquisition (34) de l'onde sonore émise en réponse  
par ledit au moins un élément ( $3_n$ ) ;
- une sous-étape de transformation (36) desdits signaux acquis en un  
nombre fini desdits coefficients représentatifs de l'onde sonore émise ; et
- 10 - une sous-étape (39) de détermination de paramètres spatiaux et/ou  
acoustiques dudit élément ( $3_n$ ) à partir desdits coefficients représentatifs de  
l'onde sonore émise.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 et 4, caracté-  
risé en ce que ladite sous-étape de calibrage (30) comporte en outre une sous-  
15 étape de détermination de la position dans au moins l'une des trois dimensions  
de l'espace dudit au moins un élément ( $3_n$ ) dudit ensemble de restitution (2).

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractéri-  
sé en ce que ladite étape de calibrage (30) comporte une sous-étape de détermi-  
nation de la réponse en fréquence ( $H_n(f)$ ) dudit au moins un élément ( $3_n$ ) dudit  
20 ensemble de restitution (2).

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractéri-  
sé en ce que ladite étape (50) de détermination de filtres d'adaptation comprend :

- une sous-étape (54) de détermination d'une matrice de décodage (D)  
représentative de filtres permettant la compensation des altérations de restitution  
25 dues aux caractéristiques spatiales dudit ensemble de restitution (2) ;
- une sous-étape (55) de détermination d'une matrice de rayonnement  
multicanal idéale (S) représentative des directions générales prédéterminées as-  
sociées à chaque signal d'informations de la pluralité des signaux d'entrée ( $S_i$ ) ; et
- une sous-étape (56) de détermination d'une matrice (A) représenta-  
30 tive desdits filtres d'adaptation à partir de ladite matrice de décodage (D) et de  
ladite matrice de rayonnement multicanal (S).

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que ladite étape  
(50) de détermination de filtres d'adaptation comporte une pluralité de sous-  
étapes de calcul (51, 52, 53) permettant de délivrer un ordre (L) limite de la préci-

sion spatiale des filtres d'adaptation, une matrice (W) correspondant à une fenêtre spatiale représentative de la répartition dans l'espace de la précision souhaitée lors de la reconstruction du champ acoustique et une matrice (M) représentative du rayonnement de l'ensemble de restitution (2), ladite sous-étape (54) de calcul de la matrice (2) de décodage (D) étant réalisée à partir des résultats de ces sous-étapes de calcul.

9. Procédé selon l'une des revendications 7 ou 8, caractérisé en ce que les matrices de décodage (D), de rayonnement multicanal idéal S et d'adaptation A sont indépendantes de la fréquence, l'étape (70) de détermination d'au moins un signal de pilotage desdits éléments dudit ensemble de restitution par l'application desdits filtres d'adaptation correspondant à de simples combinaisons linéaires suivies de retard.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que ladite étape (10) de détermination de caractéristiques dudit ensemble de restitution (2) permet la détermination de caractéristiques acoustiques dudit ensemble de restitution (2) et en ce que ledit procédé comporte une étape (60) de détermination de filtres de compensation de ces caractéristiques acoustiques, ladite étape (70) de détermination d'au moins un signal de pilotage comprenant alors une sous-étape (90) d'application desdits filtres de compensation acoustique.

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que ladite étape (10) de détermination de caractéristiques acoustiques est adaptée pour délivrer des paramètres représentatifs pour au moins un élément ( $3_n$ ) de sa réponse en fréquence ( $H_n(f)$ ).

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que ladite étape (70) de détermination d'au moins un signal de pilotage comporte une sous-étape d'ajustement de gain et d'application de retards afin d'aligner temporellement le front d'onde des éléments de restitution ( $3_n$ ) en fonction de leur distance par rapport audit point donné (5).

13. Programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution des étapes du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12 lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.

14. Support amovible du type comprenant au moins un processeur de traitement et un élément de mémoire non volatile, caractérisé en ce que ladite

mémoire comprend un programme comprenant des instructions de code pour l'exécution des étapes du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, lorsque ledit processeur exécute ledit programme.

15. Dispositif de pilotage d'un ensemble de restitution (2) d'un champ  
 5 acoustique comportant une pluralité d'éléments de restitution ( $3_n$ ), comportant des moyens (112) d'entrée d'une pluralité de signaux d'entrée d'informations acoustiques (SI) associés chacun à une direction générale de restitution prédéterminée définie par rapport à un point donné (5), caractérisé en ce qu'il comporte en outre :
- 10 - des moyens (116) de détermination de caractéristiques au moins spatiales dudit ensemble de restitution (2), permettant la détermination de paramètres représentatifs pour au moins un élément ( $3_n$ ) dudit ensemble de restitution (2) de sa position dans les trois dimensions de l'espace par rapport audit point donné (5) ;
- 15 - des moyens (114) de détermination de filtres d'adaptation (A) à partir desdites caractéristiques au moins spatiales dudit ensemble de restitution (2) et des directions générales de restitution prédéterminée associées à ladite pluralité des signaux d'entrée d'informations acoustiques (SI) ; et
- 20 - des moyens (114) de détermination d'au moins un signal de pilotage ( $sc_n$ ) desdits éléments ( $3_n$ ) dudit ensemble de restitution (2) par l'application desdits filtres d'adaptation (A) à ladite pluralité de signaux d'entrée d'informations acoustiques (SI).

16. Dispositif selon la revendication 15, caractérisé en ce que lesdits moyens de détermination des caractéristiques au moins spatiales dudit ensemble  
 25 de restitution (2) comportent des moyens (116) de saisie directe desdites caractéristiques.

17. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 15 et 16, caractérisé en ce qu'il est adapté pour être associé à des moyens de calibrage (91, 92, 93, 100) permettant la détermination des caractéristiques au moins spatiales  
 30 dudit ensemble de restitution (2).

18. Dispositif selon la revendication 17, caractérisé en ce que lesdits  
 moyens de calibrage comprennent des moyens d'acquisition d'une onde sonore  
 (100) comportant quatre capteurs de pression disposés selon une forme générale  
 de tétraèdre

19. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 15 à 18, caractérisé en ce que lesdits moyens de détermination de caractéristiques sont adaptés pour la détermination de caractéristiques acoustiques d'au moins un desdits éléments ( $3_n$ ) dudit ensemble de restitution (2), ledit dispositif comportant

5 des moyens de détermination de filtres de compensation acoustique à partir desdites caractéristiques acoustiques et lesdits moyens de détermination d'au moins un signal de pilotage étant adaptés pour l'application desdits filtres de compensation acoustique.

20. Dispositif selon la revendication 19, caractérisé en ce que lesdits

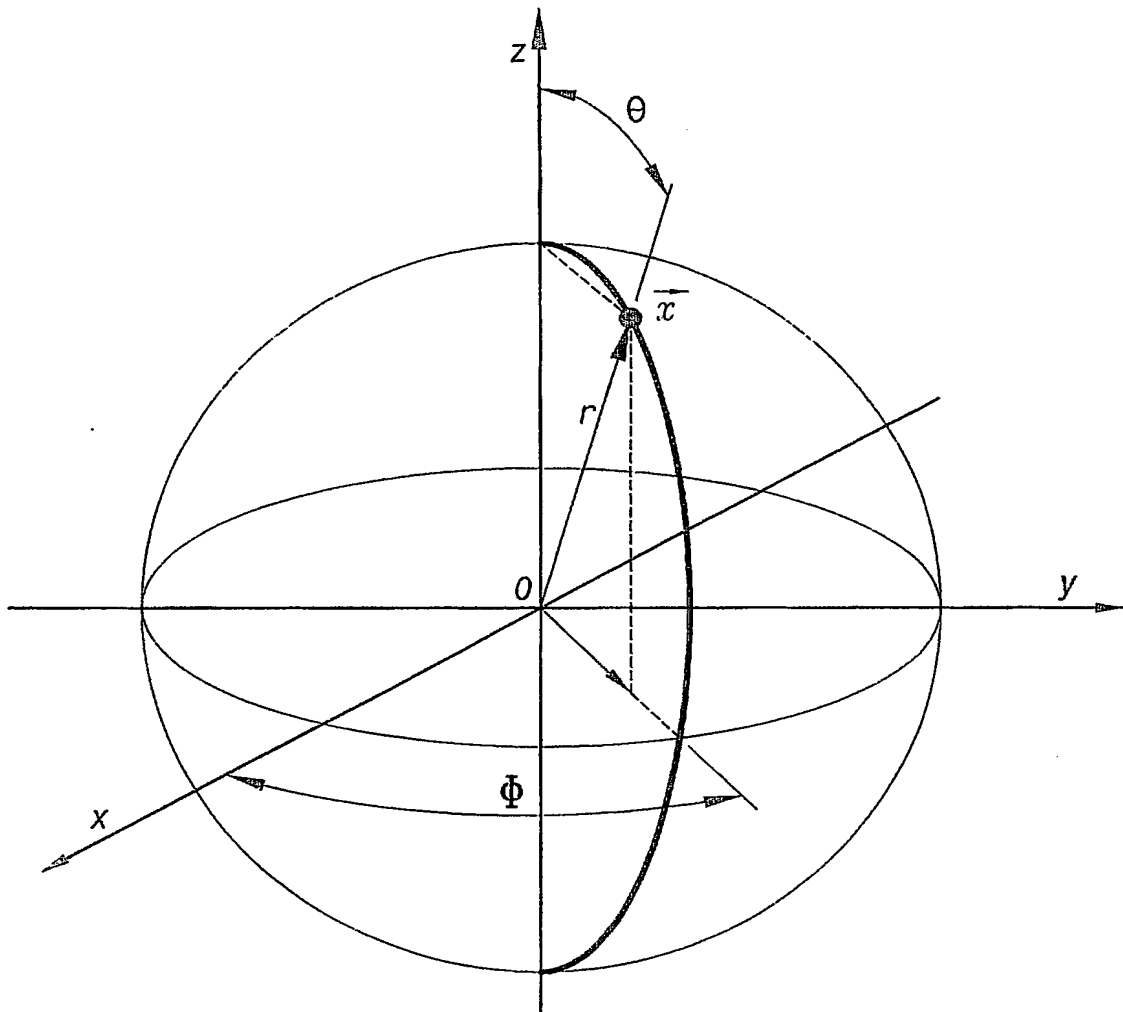
10 moyens de détermination des caractéristiques acoustiques sont adaptés pour la détermination de la réponse en fréquence ( $H_n(f)$ ) desdits éléments ( $3_n$ ) de l'ensemble de restitution (2).

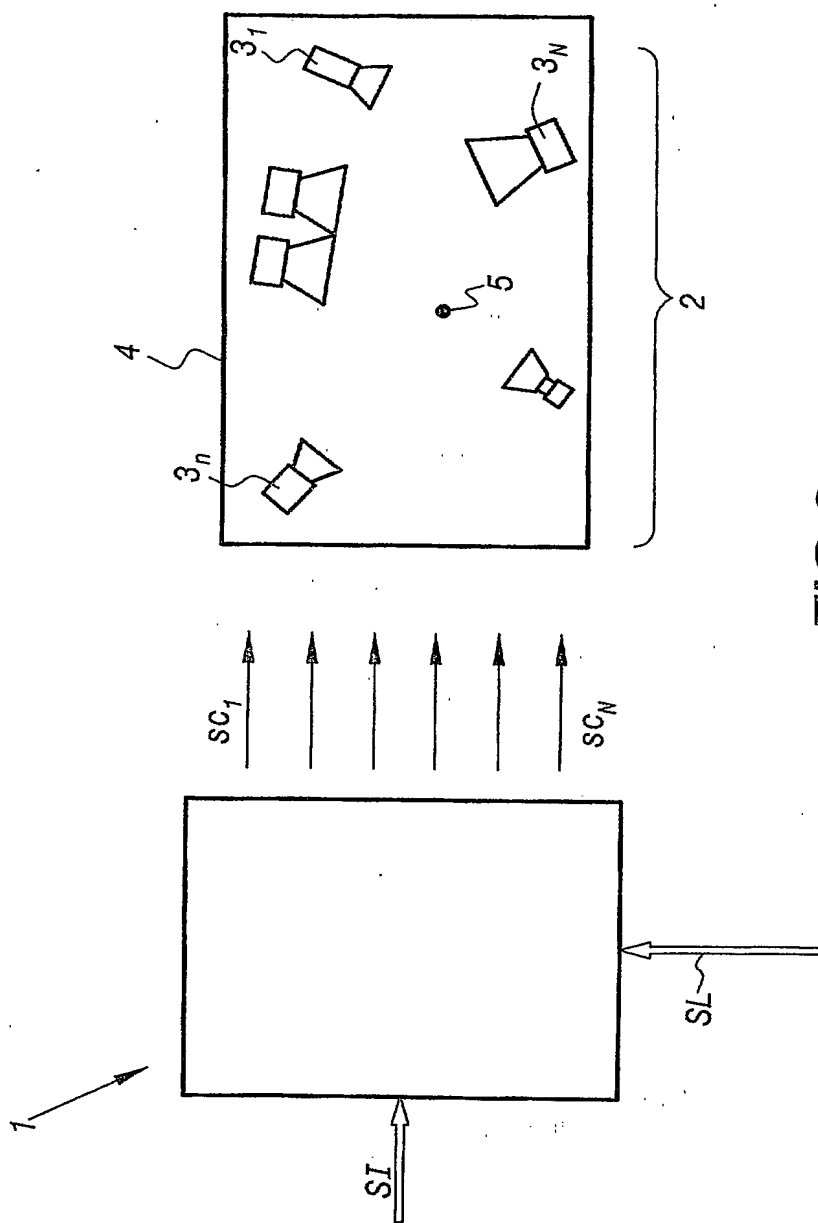
21. Appareil de traitement de données audio et vidéo comportant des moyens (112) de détermination d'une pluralité de signaux d'entrée d'informations

15 acoustiques (SI) associés chacun à une direction générale de restitution prédéterminée définie par un point donné (5), caractérisé en ce qu'il comporte en outre un dispositif de pilotage d'un ensemble de restitution (2) selon l'une quelconque des revendications 1 à 19.

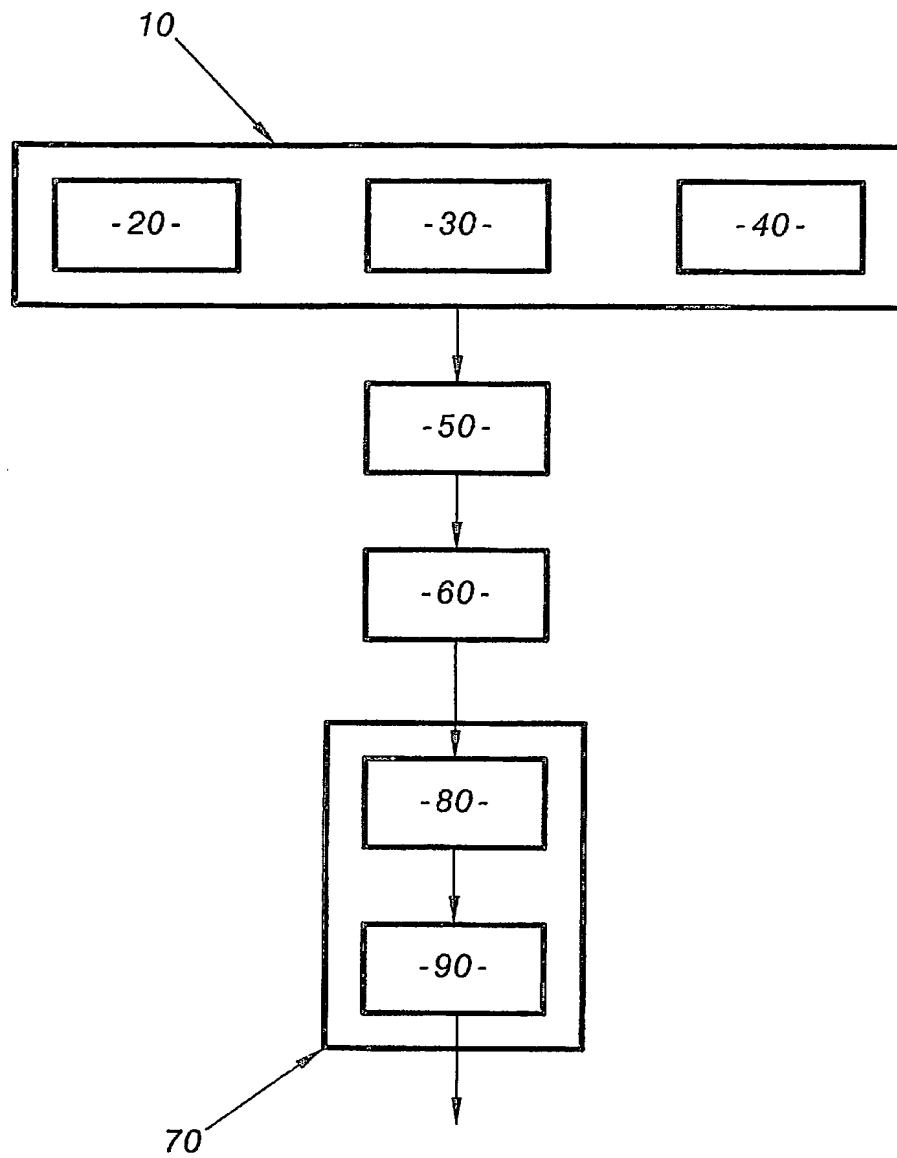
22. Appareil selon la revendication 21, caractérisé en ce que lesdits

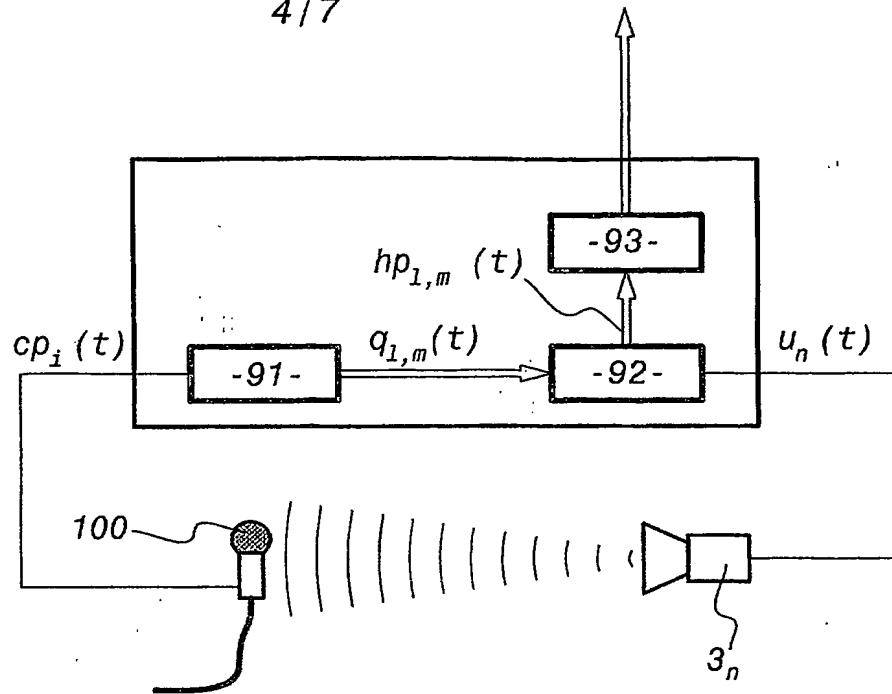
20 moyens de détermination d'une pluralité de signaux d'entrée sont formés d'une unité (112) de lecture et de décodage des disques audio et/ou vidéo numériques.

**FIG.1**

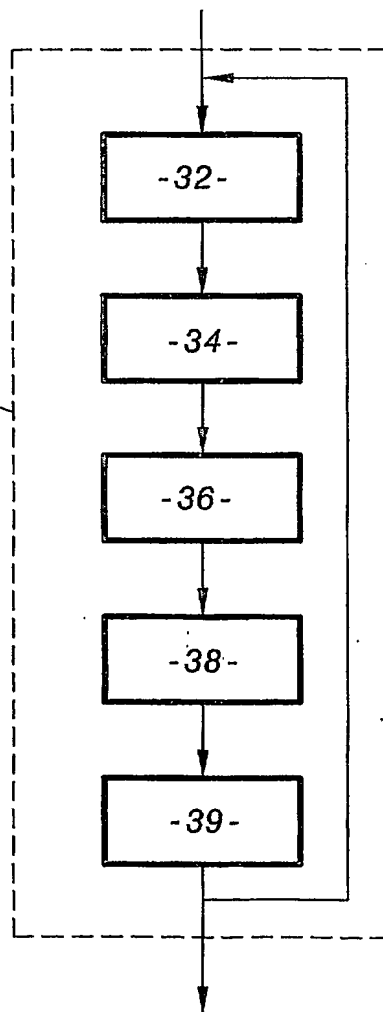


**FIG.2**

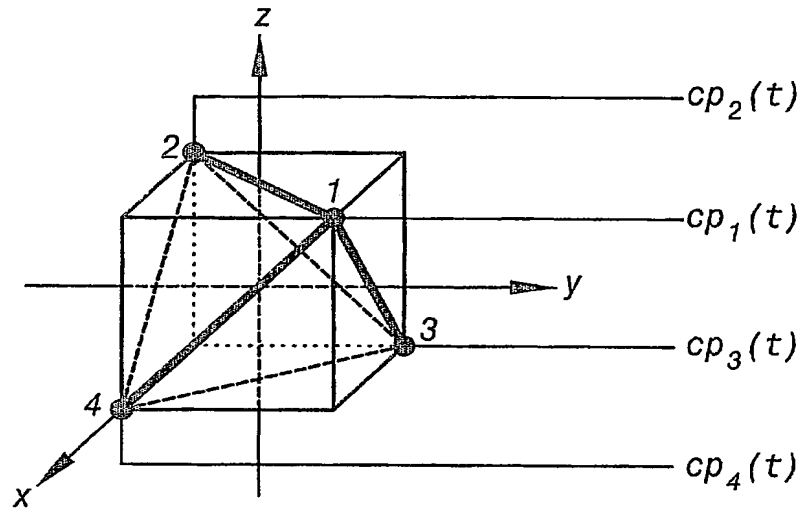
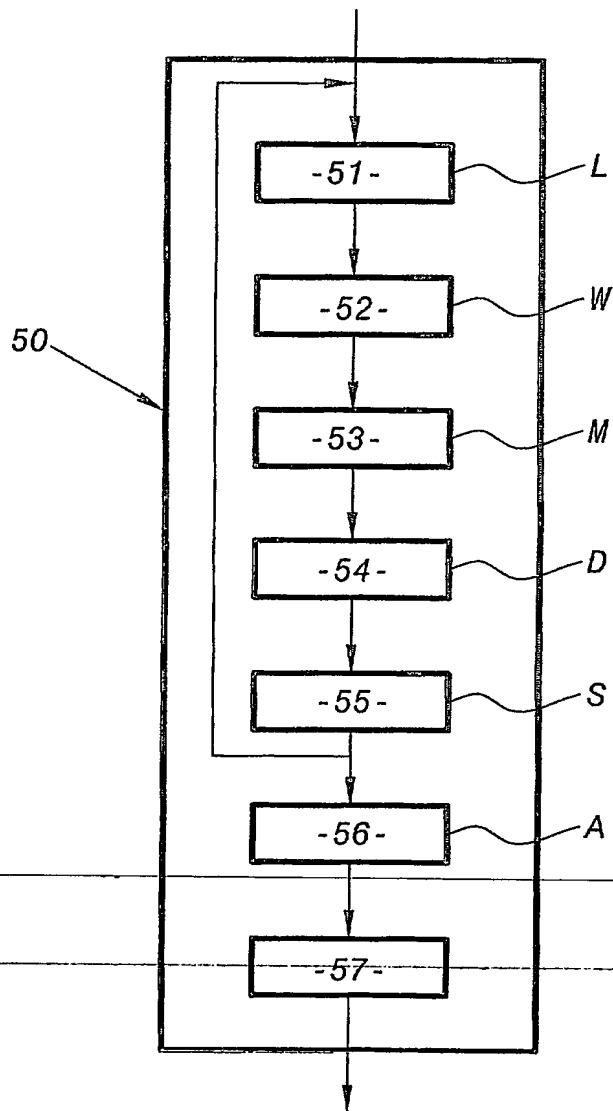
**FIG.3**

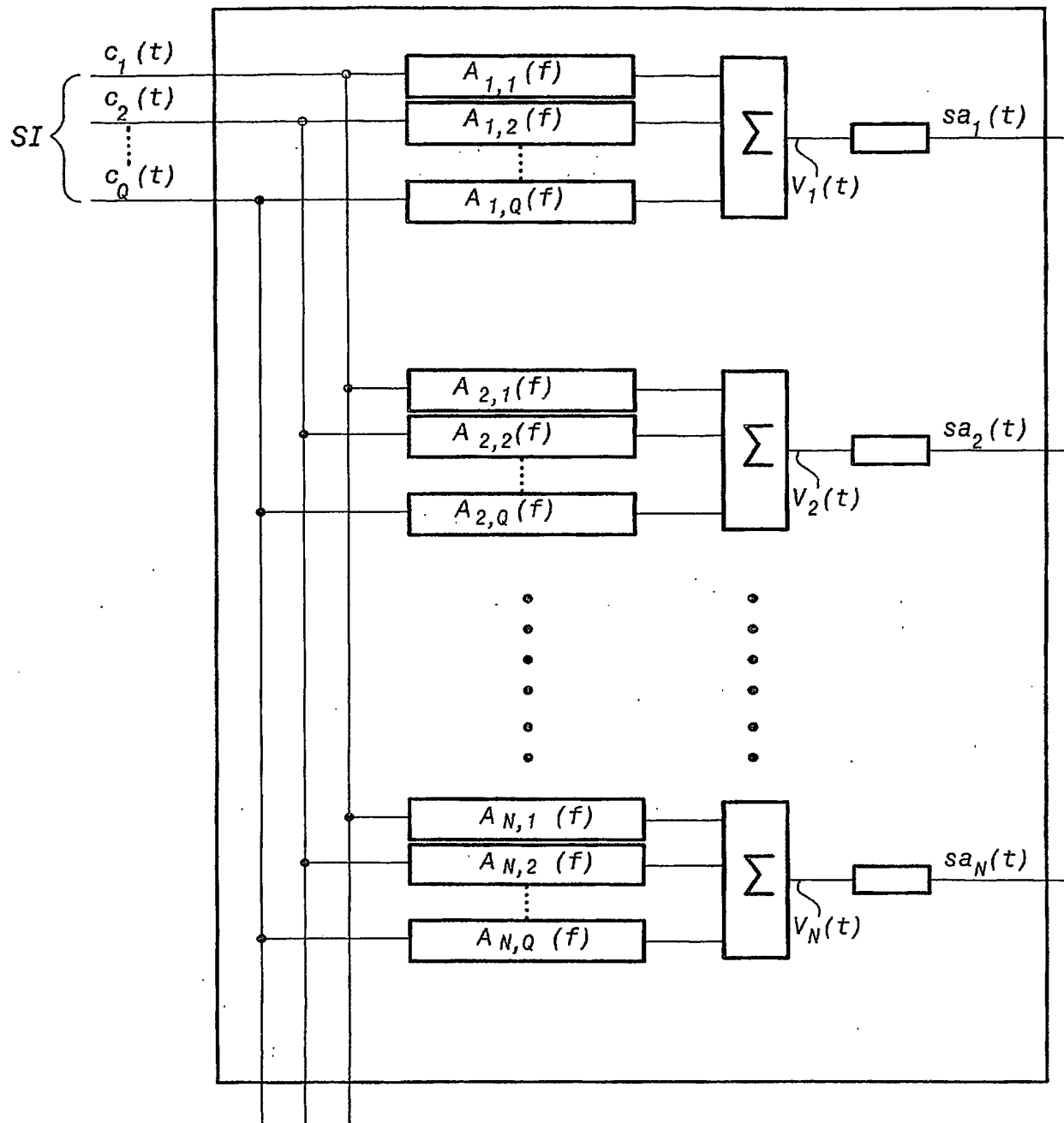
**FIG.4**

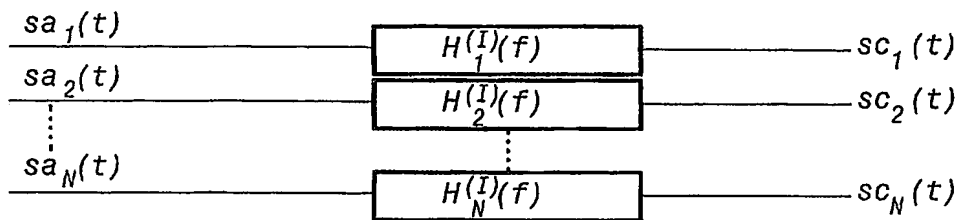
30

**FIG.5**

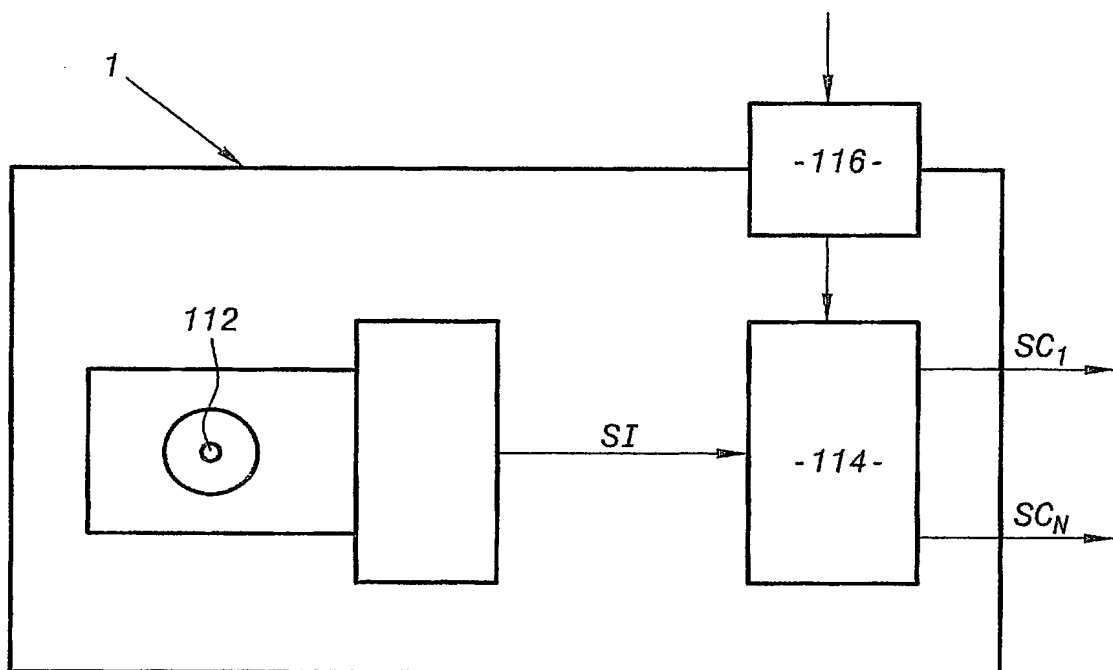


**FIG. 6****FIG. 7**

**FIG.8**



**FIG.9**



**FIG.10**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**